

Mélyfúrások optimalizálási lehetőségei

Írták: Dr. Hingl József—Tóth Béla

Az utóbbi 10—15 évben a konvencionális rotari jet-fúrás sebessége csupán az öblítés és fúróterhelés még ésszerű fokozásával nagymértékben növekedtek. Ezt bizonyítják nemcsak a világirodalmi adatok (1, 2, 3), hanem a magyarországi viszonyokat elemző tanulmányok is (4, 5).

Az algyői fúrási adatokat elemezve, az előzőekkel szemben az tapasztalható, hogy az elmúlt 2—3 évben a fúrási sebességek oly intenzív növekedésével már alig, vagy egyáltalán nem lehet számolni (4). Természetesen nehéz összehasonlítást tenni különböző évek fúrási eredményei között, hiszen évről évre változnak olyan objektív és szubjektív tényezők, melyek még azonos aktív és „passzív” fúrási tényezőket feltételezve is, fokozottan befolyásolhatják a fúrás mechanikai sebességeinek és költségeinek alakulását. Ennek ellenére tény, hogy szükségessé válik a fúrás további gyorsabb és olcsóbb mélyítését szolgáló eszközök kidolgozása a Magyarországon mélyítendő mélyfúrások vonatkozásában is. Világviszonylatban már sok egyszerű eredmény született (6, 7), és úgy véljük, hogy ezt a lemaradást pótolni kell.

Az ugrásszerű fúrási sebességnövekedés után a fejlődés finomodó újabb iránya a maximális fúrási mechanikai sebesség felől az optimális fúrási sebesség irányába, tehát nemcsak a gyorsabb, de a gyorsabb és olcsóbb fúrási feltételek tudományos alapon történő kidolgozása felé tart. A már feltárt fúrási területek további optimalizálási lehetőségein túlmenően, óriási jelentősége van a fúrási rendszer optimalizációjának új mezők feltárásakor. Néhány „paraméter-kút” lemélyítése és elemzése árán költség- és fúrási időmegtakarítások nyerhetők (8). A legtöbb optimális fúrási módszer az aktív tényezők (fordulatszám, terhelés) optimalizációját hajtja végre, és ennek megfelelő, tökéleteshez közelítő lyuktalptisztítást és más befolyásoló tényezők kedvező alakulását feltételezi (6, 9).

Eckel (10) a fúróterhelés—fúrófordulatszám optimalizációját azzal próbálja tökéletesebbé tenni, hogy a fúrási egyenletek programozása során javasolja az öblítőfolyadék jellemzőinek figyelembevételét is.

Más irányzatok képviselői pedig már nem elégszenek meg a fúróterhelés—fúrófordulatszám—fúrófogkopás összehangolásával, hanem mintegy 30 tényezőt vesznek figyelembe, és ezúton próbálják a forgóasztalos rotari fúrás összköltségét csökkenteni (11). Ez azonban már bonyolulttá, majdnem áttekinthetlenné teszi az optimalizálást célzó műveleteket és még ennek ellenére is bekövetkezhetnek olyan váratlan objektív események, melyek a 30 tényező között nyilván nem is szerepelhetnek, arról nem is beszélve, hogy az egyes paraméterek üzemi körülmények közötti kimérése — meggyőzően — nem biztosított.

Ezt követően az adott terhelés mellett keresik azokat a forgatási fordulatszámértékeket, melyek a fúrás méterköltségét a minimumra csökkentik (12, 13). Ez persze azt is jelenti, hogy az optimális fúróterhelés értéke azonos az effektív térfogati közetroncsoláshoz szükséges fúróterhelés értékével, ez valójában nem biztos, és kutatási adatok, publikációk még egyáltalán nem erősítették meg.

A másik irányvonal képviselői, már inkább merítenek a realitások adta lehetőségekből. Üzemi fúrási kísérleteket végeznek azzal a céllal, hogy adott szerkezetre vonatkoztatva megállapítsák a fúrási sebesség, fúrófogkopás, görgőcsapágykopás és a fúrási paraméterek között létező empirikus összefüggéseket (8).

Az összefüggések alapján, melyek tulajdonképpen a fúrási folyamat adott szerkezetre vonatkoztatott megközelítő matematikai modelljei, különböző eljárásokkal optimalizálható a fúrási művelet (14, 15).

Véleményünk szerint a járhatóbb utat a második irány jelenti, s jelen munkánk során ennek alkalmazási lehetőségét kívánjuk bizonyítani.

Az ilyen jellegű optimalizálási feladatok két részből állnak; a fúrási egyenletek hiteles meghatározásából és az egyenletekben szereplő fúrási paraméterek optimális kiválasztásából.

1. Fúrási sebesség egyenletének meghatározása

Görgős fúrókkal történő közetroncsolás esetén az egy fog által kivált egységnyi közettér-fogat számszerű mennyisége a következő összefüggéssel fejezhető ki.

$$V_e = k \cdot \left(\frac{p_k}{K} \right)^a \cdot t_k^b \quad (1)$$

ahol

- V_e — egységnyi közettér-fogat (mm^3)
- k — közet fúrhatósági mutatója (mm^3/s)
- p_k — a közetre a fúrófogon keresztül ható fajlagos nyomás (kp/mm^2)
- K — közet keménységét jellemző mutató (kp/mm^2)
- t_k — a fog és közet egymásrahatásának ideje (s)
- a — fúróterhelés hatékonyságának mutatója
- b — fúrófog kopásidejének (fordulatszám) mutatója

Az (1) egyenletben a p_k értékét egyszerűen meg lehet határozni:

$$p_k = \frac{P}{f_k(t)} \quad (2)$$

ahol

P — fúróterhelés (kp)

$f_k(t)$ — fúrófog—kőzet érintkezési felület, mely az idő (fúrófogkopás) függvénye (mm^2)

Az (1) egyenletben a fúrófog és kőzet egymáshatásának idejét analitikusan, szinte lehetetlen meghatározni, egyrészt a görgősfúrók bonyolult geometriája, másrészt a kőzetroncsolási mechanizmus nehezen ellenőrizhető lefolyása miatt.

Minőségi arány kifejezésére azonban alkalmasnak látszik Fjodorov képlete (16):

$$t_k = \frac{60 \cdot d}{D \cdot n_f \cdot Z} \quad (3)$$

ahol

d — görgő átmérője a külső kerület mentén (mm)

D — a fúró átmérője (mm)

n_f — fúró fordulatszáma fordulat/min.

Z — egy fúrófogkoszorúra számított átlagos fogszám

ezenek túl ismernünk kell a fúrófogak felületi számát másodpercenként, ez megközelítőleg a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$i = \frac{n_f}{60} \cdot Z_s \cdot \frac{D}{d} (1 - s) \quad (4)$$

ahol

i — másodpercenkénti fúrófogfelületek száma

Z_s — az egy fúrón lévő összes fúrófogak száma

s — görgős fúró csúszási mutatója (slip)

Így a fúró által egységnyi idő alatt szét-roncsolt kőzettérfogat (1), (2), (3) és (4) egyenletek figyelembevételével:

$$V_{k\acute{o}z} = i \cdot V_s \quad (5)$$

Az egységnyi fúrólyukfelületre eső egységnyi idő alatt elroncsolt kőzettérfogat egyenlő a fúrás mechanikai sebességével és ennek figyelembevételével a szükséges átalakítások után adódik:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{V_{k\acute{o}z}}{F_{f\acute{u}r\acute{o}lyuk}} = \frac{i \cdot V_s}{F_f} = C_1 \cdot k \cdot K^{-a} \cdot P^a \cdot n_f^{1-b} \cdot \left[f_k(t) \right]^a \quad (6)$$

ahol

$$C_1 = \left(\frac{60 \cdot d}{D \cdot Z} \right)^b \cdot \frac{Z_s}{15 \cdot \pi \cdot D \cdot d} (1 - s) \quad (7)$$

mely érték a görgős fúró geometriájától függő állandó szám.

$D_1 = c \cdot k \cdot K^{-a}$ — szorzat, melyet egy D_1 tényezővel jelölve, a kőzetek fúrhatósági jellemzőit, az öb-

lítőiszap reológiai paramétereit, az öblítés mennyiségét, jethatást stb. vesz figyelembe. Értékét üzemi megfigyelések során lehet meghatározni.

$f_k(t)$ — fúrófogkopás által befolyásolt érintkezési felület.

Ezek után a (6) egyenlet a következőképpen alakul:

$$\frac{dh}{dt} = C_1 \cdot D_1 \cdot P^a \cdot n_f^{1-b} \left[f_k(t) \right]^a \quad (8)$$

A (8) egyenletben szereplő három paraméter D_1 , a és b értékeit adott kőzetcsoportokra, öblítés mennyiségre, iszaptulajdonságokra, fúvóka-kombinációkra stb. vonatkozóan üzemi mérésekkel, pl. a VNIIBT módszertani ajánlása alapján határozható meg.

Megállapítható, hogy a fúrás mechanikai sebességének meghatározásához ismerni kell minden időpillanatban az $f_k(t)$ értékét, ami más azonos körülményeket feltételezve, a fúrófogkopás függvénye. Ennek érdekében feltételezve, hogy a kőzetek abrazivitásának, koptató hatásának foka

$$\mu = \frac{\Delta V_{ac\acute{e}l}}{\Delta V_{k\acute{o}z\acute{e}t} \cdot A} \quad (9)$$

viszony jellemzi, mely egységnyi munkára és kőzetroncsolásra (térfogatra) eső fúrófogacélkopás térfogatát adja meg.

Akkor a (9) egyenletből $V_{ac\acute{e}l}(t) = V_{k\acute{o}z\acute{e}l}(t) \cdot A$ (10)

és a $V_{k\acute{o}z\acute{e}l}(t)$ helyére behelyettesítve az (5) egyenletet, valamint figyelembe véve, hogy

$$A = M_f \cdot \psi = \rho \cdot P \cdot D \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_f \cdot t \quad (11)$$

a fúrófogból elkopott acél térfogata

$$V_{ac\acute{e}l}(t) = D_2 \cdot G_2 \cdot n_f^{2-b} \cdot P^{a+1} \cdot \int_0^t [f_k(t)]^a dt \quad (12)$$

ahol

$D_2 = \mu \cdot \rho \cdot k \cdot K^{-a}$ — szorzat, mely D_1 értékén túlmenően még figyelembe veszi a kőzetek koptató hatását, ellenállási nyomatékát, mely a szerszám forgatásánál lép fel. Meghatározása ugyancsak kísérleti úton történhet.

G_2 — a fúró geometriájából meghatározott érték, mely egyenlő

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{D^3 \cdot \pi^2}{120}$$

A (12) egyenletből még ki kell küszöbölni az $f_1(t)$ értékét, mely a fúró geometriai méreteivel a következőképpen fejezhető ki:

$$f_1(t) = \frac{Z_e}{Z_o} \sqrt{f_o^2 + 4 \cdot l \cdot Z_o \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \cdot V_{acc}(t)} \quad (13)$$

A (13) egyenletet behelyettesítve a (12) egyenletbe, megállapítható a fúrófog kopásának volumene.

Ismervén a $V_{acc}(t)$ értékét, most már a (8) egyenletből meghatározhatjuk az egyes fúróra eső előrehaladás értékét:

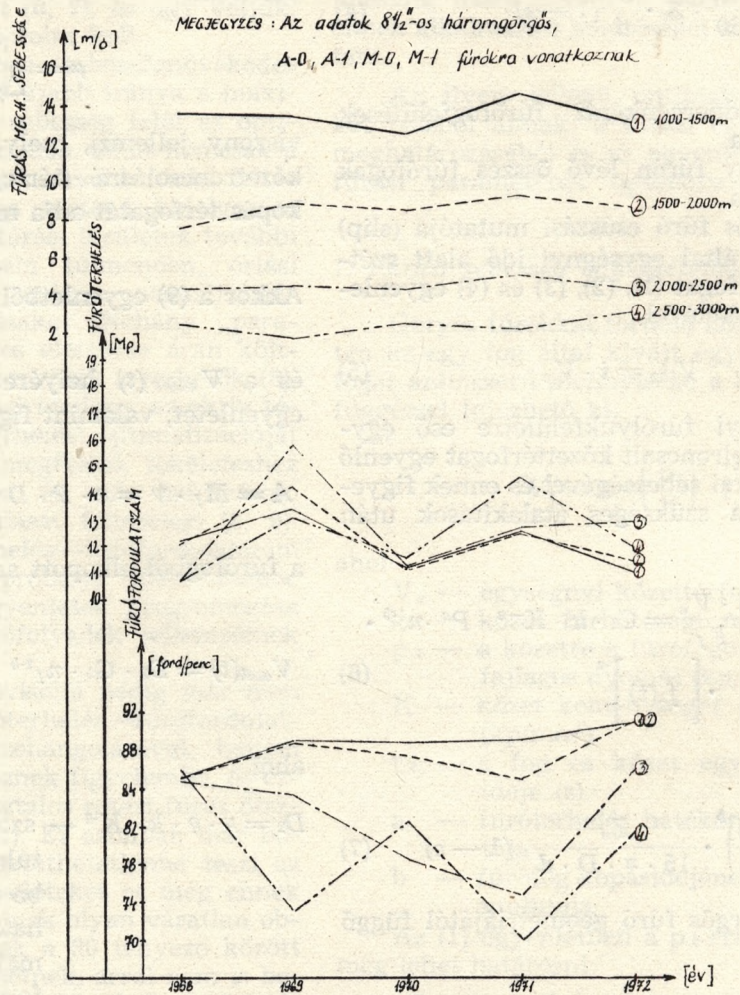
$$h = C_1 \cdot D_1 \cdot \left(\frac{Z_o}{Z_e}\right)^a \cdot P^a \cdot n_f^{1-b} \cdot$$

$$\int_0^T \left[f_o^2 + 4 \cdot l \cdot Z_o \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \cdot V_{acc}(t) \right]^a dt \quad (14)$$

- M_f — fúró ellenállási nyomatéka (kp/mm)
- ψ — fúró elfordulási szöge t idő alatt (radián)
- e — súrlódási tényező, mely a szerszám forgatásakor lép fel
- Z_e — a talppal egyidejűleg érintkező fúrófogak száma
- f_o — összfogak számának kezdeti homlokl felülete (mm²)
- l — fúrófogak átlaghossza (mm)
- γ — fúrófogak csúcshöze (fok)
- T — fúrómenet ideje (s)

Az algyői mezőben mélyített kutak adatait elemezve megállapítható, hogy a 3 görgős fúrók (A0, A1, A2, M0, M1, M2 stb.) kiépítésének kritériumát nem a fúrófogak nagymértékű kopása, hanem a görgők csapágyazásának elhasználódása szabja meg. Ezért a (13) egyenlet integrálásában az egy fúrómenet idejét (T) a csapágyazás elhasználódása befolyásolja. Amerikai kutatók szerint a csapágyazás elhasználódási sebessége kifejezhető a következő empirikus képlettel (6):

$$\frac{dB}{dt} = \frac{n \cdot P^a}{r} \quad (15)$$



1. ábra
A fúrás mechanikai sebességének, a fúró terhelésének, a fúró fordulatszámának alakulása 1958-1972 között az algyői mezőben.

ahol az α értéke $\sim 1,5$ (6), és a fúrást meghatározó különböző körülményektől, az alkalmazott fúrók típusától, méretétől stb. függ. Az r értékét üzemi mérések alapján lehet meghatározni.

A (15) egyenletből kifejezve a T értékét:

$$T = r \cdot \sum_{i=1}^j \frac{1}{n_i \cdot P_i^\alpha} \Delta B_i \quad (16)$$

A B értéke változhat 0—1-ig, és $B_1 = 0$; $B_{j+1} = 1$.

A (16) egyenletben feltételezzük, hogy a fordulatszám és a fúróterhelés diszkrétén változik, a fúrómenet során „ j ” számú csapágykopási helyzetet választottunk ki, és egy i helyzetnek megfelelő csapágykopás $B_i = B_{i+1} - B_i$ során a fordulatszám egyenlő n_i -vel, valamint a fúróterhelés P_i -vel.

Abban az esetben, ha a fúrómenet során n és P állandó, akkor a (16) egyenlet a következőképpen alakul:

$$T = \frac{r}{n \cdot P^\alpha} \quad (17)$$

Most már a (16) egyenletet behelyettesítve a (14) egyenletbe, az eredmény az egy fúróra eső előrehaladás értékét, többek közt a fordulatszám, fúróterhelés, fúrófogkopás, görgőscsapágy elhasználódása stb. függvényében:

$$h = \sum_{j=1}^i C_1 \cdot D_1 \left(\frac{Z_d}{Z_d^0} \right)^a \cdot P^a \cdot n_f^{1-b} \cdot r \sum_{i=1}^j \frac{\Delta B_i}{n_i \cdot P_i^\alpha} \int_0^t \left[f_0^2 + 4 \cdot l \cdot Z_d \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \cdot V_{acc}(t) \right]^a dt \quad (18)$$

2. Optimális fúrási lehetőség Monte-Carlo-módszer alkalmazásával

Az optimalizált fúrási rendszernek célja az olcsóbb fúrólyukmélyítés. Egy fúrómenet során a méterkötségek értéke a következő képlettel számítható ki (már figyelembe véve az algyői viszonyokat, és feltételezve, hogy a fúrómenet során műszaki baleset, vagy más olyan ok, mely a fúró idő előtti kiépítését tenné szükségessé, nem következik be).

ahol

$$MC = C_f \cdot \frac{1}{h} + C_b \cdot \frac{r}{h} \sum_{i=1}^j \frac{\Delta B_i}{n_i \cdot P_i^\alpha} + C_b \cdot p_{kb} \cdot \frac{h_0}{h} + C_b \cdot p_{tb} \quad (19)$$

MC — egy fúrómenet méterkötsége (Ft/m)
 C_f — fúró értéke (Ft)

C_b — berendezés óránkénti költsége (Ft/óra)

P_{kb} — ki-, beépítési paraméter — függvény, mely egységnyi hossz. ki-, ill. beépítési idejét jellemzi (ó/m)

h_0 — fúrás megkezdésének mélysége (m).

A (19) egyenletbe a h értékét a (18) egyenletből helyettesítjük be.

Ahhoz, hogy a méterkötség (MC) a minimális legyen, olyan optimális fúróterhelés—fúrófordulatszám—idő hármast kell megtalálni, mely ezt biztosítani tudja. Minden valószínűség szerint az a megoldási mód lesz a legalkalmasabb, melynél bármelyik indulási helyzet (n — P — t) az optimális irányban fog deformálódni. Ezt a célt szolgálja a Monte-Carlo-módszer.

A Monte-Carlo-módszer matematikai feladatok numerikus megoldása, diszkrét, vagy folytonos eloszlású „sztochasztikus változók” modellezésének segítségével, melynek kidolgozása 1949-re tehető (17).

Feladatunk megoldásánál az n_i — P_i diszkrét eloszlásúak, tehát a sztochasztikus változó

$$\xi = \left(\begin{matrix} n_1 P_1; n_2 P_2 \dots n_j P_j \\ p_1; p_2 \dots p_j \end{matrix} \right) \text{ alakú lesz.}$$

Ennek matematikai várható értéke ($M\xi$):

$$M\xi = \sum_{i=1}^j n_i P_i p_i$$

ahol

$n_i P_i$ — sztochasztikus változó létező diszkrét értékpárja

p_i — sztochasztikus változó valószínűségei

de $\sum p_i = 1$

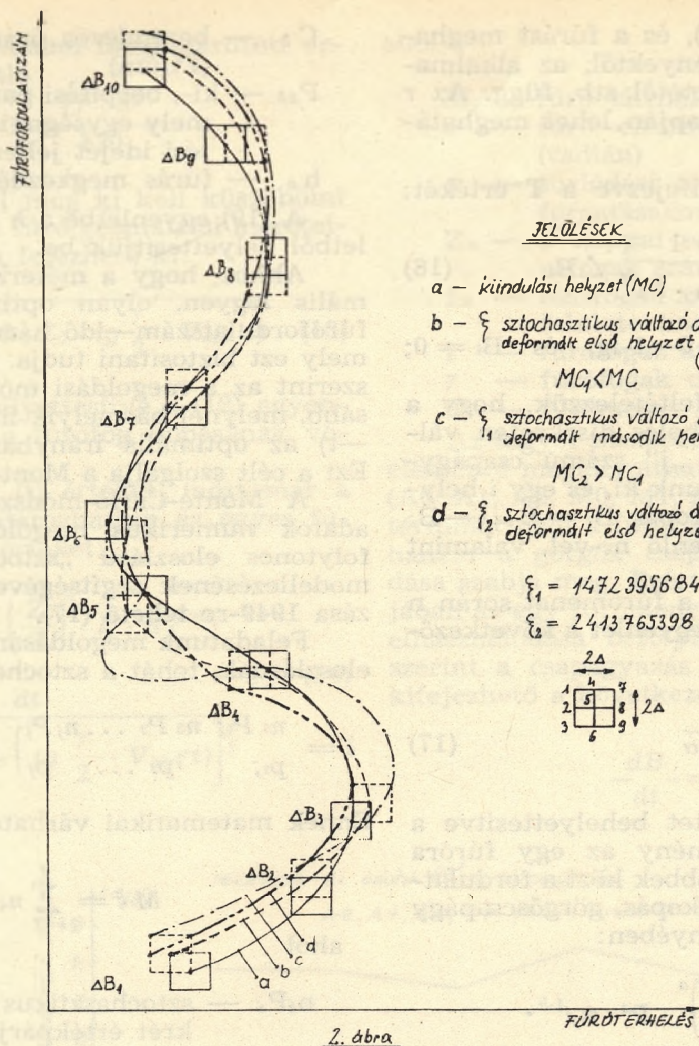
A diszkrét eloszlású sztochasztikus változó variáciája ($D\xi$)

$$D\xi = M(\xi^2) - (M\xi)^2$$

A feladatok jellegétől függően az egyenletes eloszlású sztochasztikus változókat transzformálják egy előre megadott p_1, p_2, \dots, p_j valószínűségek szerint. A vizsgált esetben erre nem kerül sor, mivel lehetetlen előre megmondani, hogy egy ismeretlen kezdeti irányból, vagy pontból kiindulva, a sztochasztikus változót milyen valószínűség szerint kombinálva lehet eljutni a célgörbéhez.

A feladat megoldásának lényege abban áll, hogy az n — P síkon egy tetszőleges kiindulási görbét (vagy pontot) felvéve (2. ábra). Tulajdonképpen ez nem folytonos görbe, hanem diszkrét pontok rendszere. Minden pont megfelel egy csapágyelhasználódási helyzet ΔB_i által megszabott n_i, P_i diszkrét párnak. Miután a csapágyelhasználódás foka eléri a ΔB_{i+1} helyzetet, akkor a fúrófordulatszám és fúróterhelés értéke diszkrétén átmegy az n_{i+1}, P_{i+1} új helyzetbe.

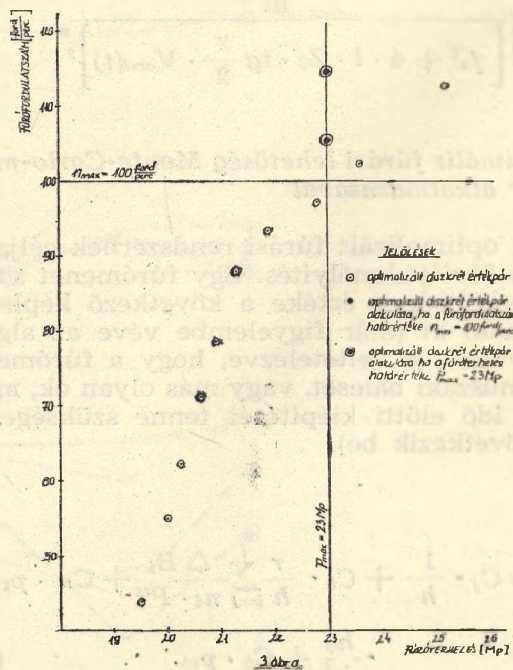
Minden diszkrét pontra elhelyezhető egy 2Δ oldallapú négyzet, melynek középpontja maga a diszkrét pont.



2. ábra
Mélyfúrás optimalizációját célzó MONTE-CARLO módszer elvi felépítése

A középponton keresztül húzunk két felező egyenest, húzva a mellékelt ábra szerint (2. ábra). A kapott metszéspontok: 1—9-ig. Ezt minden diszkrét pontra külön el kell végezni. Az ilyenformán 4 kisebb négyzetre osztott nagyobb négyzet adja a fúróterhelés és fúrófordulatszám variációs lehetőségeit. A kis négyzetekkel vízszintes irányban variálva lehet a $P_i + \Delta$ és $P_i - \Delta$, függőlegesen pedig $n_i + \Delta$ és $n_i - \Delta$ variációkat létrehozni. Tehát a 9 szám közül egy-egy szám konkrét variációt jelent egy adott diszkrét pontra vonatkoztatva. Hogy melyik diszkrét pontra, azt az dönti el, hogy a 8 jegyű (ha 8 diszkrét pont van), vagy mondjuk 10 jegyű (ha 10 diszkrét pont van) sztochasztikus változóban helyileg hol található a variációkat jelentő szám 1—9-ig.

A Monte-Carlo-módszer alkalmazását a fúrás optimalizálására vonatkozóan a számítógépek gyors fejlődése teszi lehetővé. A számítógép a program alapján kiszámolja a felvett kiindulási diszkrét pontokra (pl. 10 db-ra) vonatkozóan a fúrás méterköltségének (MC) értékét. Az értéket rögzíti. Ezt követően kiválaszt egy sztochasztikus változót, pl. $\xi_1 = 1472.395684$, és erre vonatkozóan variálja az n és P értékeket (lásd 2. ábra). Az új helyzetnek megfelelően

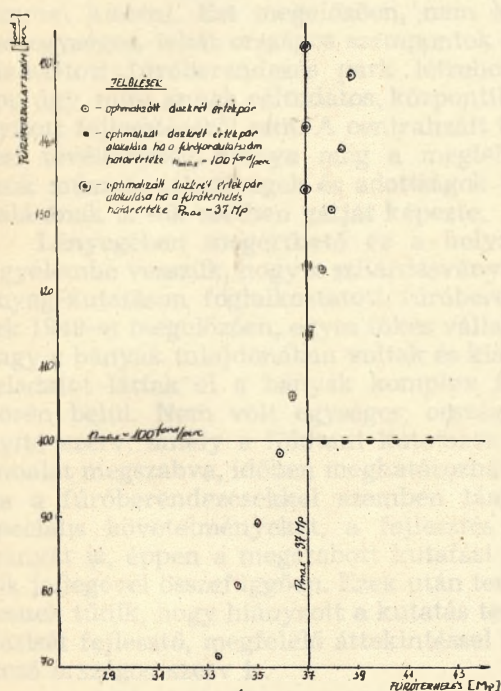


3. ábra
Optimalizált cégárba háromgörgös 6% ÖWV típusú kúpra R. Reed szonnt (ΔB-10; görgőcsapágyhasználatára mérve)

kiszámolja az MC_1 értékét. Ha az $MC_1 < MC$, akkor ugyanezzel a sztochasztikus változóval tovább számolva végzi a kiindulási diszkrét-pontrendszer-deformálást, míg a j -dik lépésnél adódhat, hogy $MC_j > MC_{j-1}$. Ez azt jelenti, hogy a további mozgás kiindulási helyzete az MC_{j-1} helyzetnek megfelelő diszkrét pontok rendszere. Ebben a helyzetben kiválaszva az ξ_2 sztochasztikus változót, és hasonló elvek alapján addig kell variálni az n és P értékeket, míg az MC értéke gyakorlatilag már nem csökkenthető. Így kialakul az a célgörbe, ami megadja a csapágykopás függvényében (az idő függvényében) a fúrófordulatszám és fúróterhelés diszkrét változásainak értékét a minimális méterköltségek szempontjából.

A 3. ábra egy olyan optimalizációs célgörbét mutat be, melyet R. Reed szerkesztett Monte-Carlo-módszer alkalmazásával. Mint az ábrából kiderül, a fúró csapágykopásának intenzitásával növelni kell mind a fúróterhelés, mind a fúrófordulatszám-értékeket. A jelen példában R. Reed 10 ΔB_i értékkel számol.

Érdekesen alakul az optimalizálási célgörbe, ha a fúró kiépítését a fúrófogkopás szabja meg



Optimalizált célgörbe háromgörgős 22° OSC-3 típusú fúróra R. Reed szerint
($\Delta V = 40$ fúrófogkopásra méretezve)

(4. ábra). Ilyen esetekben ugyanis állandóan nő az érintkezési felület a fúrófog és kőzet között, ezért azt lehetne várni, hogy a további effektív közetroncsolás biztosítása céljából növelni kell a fúróterhelést az állandó fajlagos nyomás (az érintkező felület és kőzet között) fenntartásának biztosítására.

Ismeretes, hogy a teljesen elkopott fúrófogak érintkezési felülete az új fúró kezdeti fe-

lületének többszöröse. Ez azt is jelenti, hogy az állandó fajlagos nyomás fenntartása céljából a kezdeti fúróterhelést a fúrómenet vége felé többszörösére kellene növelni.

Ez azonban egyáltalán nem derül ki a 4. ábrából, ami azt is jelentheti, hogy a fenti elképzelés hamis.

Az optimalizált célgörbék vizsgálatából az is kitűnik, hogy a fúrás méterköltségének, fúrási idejének csökkentése szempontjából fontos szerepet játszhat a fúrófordulatszám célszerű növelése, és az optimális fúrófordulatszám adott diszkrét helyzetben elérheti a 150–200 ford/percet is. Tény azonban, hogy ilyen nagy fúrófordulatszámok biztosítása a magyarországi fúróberendezések esetében (rotari fúrással) majdnem lehetetlen.

Ezért előre vetheti árnyékát olyan fúroturbinák alkalmazása, melyeknek a fordulatszám a szükségnek megfelelően változtatható, meredek nyomategyenesekkel rendelkeznek, valamint kombinálhatók jettfúrókkal is (AGT, BGT). Ezeknek a fúroturbináknak a fordulatszám a fékező lapátok beépítési számától függően változtatható, mintegy 40–500 ford/min. határok között. A BGT-turbinák további előnye még, hogy a jettfúró fúvókáin létrejövő nyomásesés nem adódik hozzá az öblítő- és turbina nyomáseséséhez.

Megállapítható, a rotari fúrás közel sem érte el tökéletesedése csúcsát, s a növekvő mélységek ellenére a fúrási sebesség növelésének és a költségek csökkentésének, tehát az optimalizálásának bőséges lehetősége van.

Ennek érdekében szükséges a fúrási egyenletek alaki helyességének ipari alátámasztása, paramétereinek üzemi kimérése, a fúrási művelet optimalizálását célzó program kidolgozása, mely a Monte-Carlo-módszert alkalmazva, az optimális fúróterhelési—fúrófordulatszám megközelítést teszi lehetővé.

IRODALOM

1. Sacov, N. J.: Burénie nefjannüh i gázovüh szkvá-zsin. Moszkva, Gosztoptehtizdat, 1961.
2. Brantly, J.: Rotary drilling handbook. 6 th ed. New York, Palmers Publ. 1963.
3. Stone, V. C.: High speed rotary drilling technique in Southern Louisiana, API Drilling and Production Practice 1961, p. 9–56.
4. Fúrási napijelentések. 1963–1973, Üllés—Szeged.
5. Alliquander Ö.: Rotari fúrás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
6. Galle, E. M., Woods H. B.: Best constant weight and rotary speed for rotary rock bits. API Drilling and Producing Practice 1963. 48–47.
7. Denn, M. M.: Optimization by variational methods. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York 1963.
8. Metodika provodki oporno-technologicseszkih szkvá-zsin. VNIIBT Moszkva 1971.
9. Reed, R. A.: A Monte-Carlo approach to optimal drilling. SPE 35 134.

10. *Eckel, J. R.*: Microbit studies of effect of fluid properties and hydraulics on drilling rate. JPT 1967. 541—546.
11. *McGhee, E.*: How Gulf attacking drilling costs. OGJ. 1963. 41.
12. *Mechanicseszkje szvojsztva gornüh porod pri vdávlivánii i ih prakticseszkje iszpolzovánie.* Moszkva VNIIOENG 1966.
13. *Sreiner, L. A. és mások*: Metodicseszkoe poszobie po iszpolzovániju rezultátov iszpütánij mechanicseszkih szvojsztv gornüh porod vdávliváníem tampa. Moszkva 1967.
14. *Ignatiádi, A. J., Bicuta, V. K.*: O karaktere izno-sza vooruzsénia dolota vo vrémeni Neft i Gáz 1971, 3.
15. *Gulizáde, M. P. és mások*: Szamonasztraívájuszja model optimálnogo upravljénija proceszom rotor-nogo burénija. Neft i Gáz 1972. 5.
16. *Fjodorov, V. C.*: Proektirovánie rezsimov burénija. Goszoptehizdat, 1958.
17. *Szobol, I. M.*: Metod Monte Karlo. Moszkva, Nauka, 1972.

Д-р Хингл Йожеф—Тот Бела:

ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМАЛИЗАЦИИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Одним из основных вопросов быстрого и дешевого бурения глубоких скважин является выбор оптимального режима бурения. Для оптимализации необходимо определить дифференциальные уравнения бурения и выбор трех оптимальных показателей — нагрузка на буровые штанги-число оборотов-время — с помощью метода Монте-Карло. Дифференциальное уравнение скважин определяется теоретическим путем, а определение отдельных параметров проводится путем промышленных измерений. На месторождении Алдэ критерий поднятия буров с термя шариками представляет износ шариковых подшипников буров. Это оказывает значительное влияние на величину решения дифференциальных уравнений и на форму оптимальной кривой.